



## Patentansprüche:

1. Verfahren zur Herstellung elektrischer Hoch- und Höchstspannungskabel, bei dem in einem kontinuierlichen Fertigungsgang eine Isolationsschicht aus einem thermoplastischen Kunststoff durch Strangpressen auf einen in sie zentrisch einzubettenden Leiterstrang aufgebracht wird, wobei mit einem unter Druck stehenden, strömungsfähigen Medium gefüllte Hohlräume, deren Volumens-Anteil wenigstens 50% des Volumens der Isolationsschicht beträgt, gebildet werden und bei dem die Isolationsschicht mit einem dichten, metallischen Mantel umgeben wird, dadurch gekennzeichnet, daß der metallische Mantel (B) zugleich mit dem Strang der Isolationsschicht (C), jedoch mit einem gegenüber dessen Querschnittsabmessungen merklich größeren Innendurchmesser, extrudiert wird, und das Material der Isolationsschicht, bei sogleich einsetzender Kühlung des Mantels, für eine zur Bildung der Hohlräume (D) und zum Einbringen des Mediums, z. B. einem Isoliergas oder einer kühlenden Flüssigkeit, in diese ausreichende Zeitspanne auf einer Temperatur, bei welcher es noch plastisch verformbar ist, gehalten und bei der Bildung der Hohlräume bis zur Anlage an der Mantelinnenfläche gedrückt wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Oberfläche des Leiterstranges (E) in einem Fertigungsgang mit und unmittelbar vor dem Extrudieren der Isolierschicht, beispielsweise durch hochfrequente Induktionserhitzung, in einer dünnen Schicht angeschmolzen und geglättet wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Hohlräume (D) der Isolationsschicht (C) durch intermittierendes Einblasen eines lediglich in Abhängigkeit von der mechanischen Festigkeit des Mantels unter einem hohen Druck von mehr als 20 atü stehenden, gasförmigen Mediums in das sich im verformbaren, erweichten Zustand befindliche Material dieser Schicht gebildet werden.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß durch Steuerung des Relativedruckes zwischen dem Druck des in das Material der Isolationsschicht (C) eingebrachten Mediums und dem Druck des Materials selbst sowie der Zeitintervalle, in denen das Medium in die Isolationsschicht eingebracht wird, die Ausdehnung bzw. Längserstreckung der Hohlräume (D) nach Wunsch bestimmt wird.

5. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Hohlräume (D) in einem geringen Abstand von der Extrudierstelle durch stellenweises gleichmäßiges Verdrängen des extrudierten Materials der Isolationsschicht (C) aus einer ringförmigen mittleren Lage gegen die äußere Randzone derselben mechanisch geformt und zugleich mit dem Medium gefüllt werden.

6. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß die bereits geformten Hohlräume (D) unmittelbar nach deren Bildung und Füllung mit dem unter Druck stehenden Medium durch zeitweilige Steigerung des Druckes in der Isolationsschicht und Vergrößerung des Volumens des zur Bildung derselben zugeführten Ma-

terials, bei gleichzeitiger Unterbrechung der Zufuhr des Mediums, wieder verschlossen werden.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß die Hohlräume (D) der Isolationsschicht (C) über eine gesamte Fertigungslänge des Kabels (A) durchgehend geformt werden, wobei vor Beginn und nach Beendigung der Extrusion der Isolationsschicht das betreffende Kabelende in an sich bekannter Weise dicht verschlossen wird.

8. Verfahren nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß in die Hohlräume (D) unmittelbar bei deren Bildung zunächst ein kühlendes, insbesondere flüssiges Medium eingebracht und erst zu einem späteren Zeitpunkt, nach Trocknung der Hohlräume, durch ein die gewünschten Eigenschaften aufweisendes Druckgas ersetzt wird.

9. Verfahren nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß beide Enden einer Fertigungslänge des Kabels (A) gekappt, die Hohlräume (D) entleert, sodann, z. B. durch Zufuhr erwärmter und über ein hygroskopisches Filter gefilterter Druckluft an ein Kabelende, getrocknet und bis zur Montage wieder dicht verschlossen werden, und daß die Hohlräume einer durch dichten Zusammenschluß mehrerer Kabelfertigungslängen gebildeten Leitung von einer gemeinsamen Stelle aus mit dem gewünschten Druckgas gefüllt und, wie an sich bekannt, bis zur völligen Diffusion dieses Gases in den gesamten Bereich der Isolationsschicht (C) einem höheren als dem vorgesehenen Betriebsgasdruck ausgesetzt werden.

Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zur Herstellung elektrischer Hoch- und Höchstspannungskabel, bei dem in einem kontinuierlichen Fertigungsgang eine Isolationsschicht aus einem thermoplastischen Kunststoff durch Strangpressen auf einen in sie zentrisch einzubettenden Leiterstrang aufgebracht wird, wobei mit einem unter Druck stehenden, strömungsfähigen Medium gefüllte Hohlräume, deren Volumens-Anteil wenigstens 50% des Volumens der Isolationsschicht beträgt, gebildet werden und bei dem die Isolationsschicht mit einem dichten, metallischen Mantel umgeben wird.

Die herzustellenden Hoch- und Höchstspannungskabel, sind von jener Art, bei der der Leiterstrang in einer aus thermoplastischem Kunststoff gebildeten Isolationsschicht zentrisch eingebettet ist, die gasgefüllte Hohlräume aufweist und von einem druckfesten, metallischen Mantel umgeben ist, wobei der Anteil der gasgefüllten, Querschnittsabmessungen von einigen Millimetern aufweisenden Hohlräume wenigstens 50% des Volumens der Isolationsschicht beträgt.

Nach einem bekannten Verfahren zur Herstellung eines elektrischen Hochspannungskabels für Gleich- oder Wechselstrom (deutsche Offenlegungsschrift 1490 173) werden als Dielektrikum Isolierstreifen aus Kunststoff auf den Leiter aufgebracht, die voneinander durch dünne, durchlässige Isolierlagen in Form von Einzelfäden, Geweben, Umklöppelungen od. dgl. getrennt sind, und das geschichtete, feste Dielektrikum wird mit einem trockenen, inerten Gas gefüllt. Als Füllgas kann beispielsweise Stickstoff,

Schwefelhexafluorid oder auch Fluorkohlenwasserstoff bzw. ein Gemisch solcher und ähnlicher Gase verwendet werden, das unter einem Druck im Bereich von 2 bis 50 atü eingebracht wird. Kabel dieser Art sind sehr umständlich herzustellen und wegen des relativ geringen Druckes des Isoliergases für sehr hohe Spannungen von mehr als 100 kV nicht verwendbar. Auch ist die insbesondere bei der Übertragung großer Leistungen erforderliche Wärmeabfuhr bei einem solchen Kabel relativ gering, nebst der Gefahr der Ionisierung im Bereich der Stoßfugen der leitfähigen Feldbegrenzung.

Es ist auch ein Herstellungsverfahren für Kabel bekannt (französische Patentschrift 1 084 096), bei dem in das aus einem isolierenden, thermoplastischen Material bestehende Dielektrikum beim Strangpressen Gas hineingedrückt wird, welches nach dem Austritt aus der Düse expandiert, so daß die Kunststoffisolierung Gasblasen unbestimmter Größe und Anordnung enthält. Dabei würde als nachteilig empfunden, daß weder die mechanische Festigkeit noch die Eigenschaften einer solchen Isolierung über die ganze Länge des Kabels konstant sind. Der entscheidende Nachteil einer solchen Isolierung aus geschäumtem Kunststoff ist jedoch der relativ geringe Druck des Isoliergases, das zwar vor dem Extrudieren unter einem relativ hohen Druck in die erhitzte thermoplastische Masse eingebracht wird, jedoch nach dem Extrudieren expandiert, wobei der Druck auf einen geringen Wert abfällt.

Ein ähnliches bekanntes Verfahren (französische Patentschrift 1 369 705) sieht vor, daß in die aus einem thermoplastischen oder auch harten Kunststoff bestehende Isolierung eines Hochspannungskabels bei der Herstellung ein isolierendes Gas unter einem Druck eingebracht wird, der in Abhängigkeit von der mechanischen Festigkeit des Kunststoffes so hoch wie möglich gewählt wird.

Dabei ist in einer Anwendungsform dieses bekannten Verfahrens vorgesehen, daß das die schaumstoffartige Isolierung eines derart herzustellenden Kabels bildende Kunststoff-Gas-Gemisch zunächst in ein feststehendes erwärmtes Rohr extrudiert und darin ausreichend lange geführt und zusammengehalten wird, bis der extrudierte Kunststoff erstarrt ist, in welchem Zustand er einem Druck der Gaseinschlüsse von etwa 10 bis 15 atü standzuhalten vermag, wenn die diese enthaltenden Hohlräume sehr klein dimensioniert sind. Auf die bereits erhärtet aus dem erwärmten Rohr austretende Schaumstoff-Isolierung kann überdies ein herkömmlicher Metallmantel z. B. aus Aluminium aufgebracht werden.

Da jedoch die mechanische Festigkeit der hierfür in Betracht gezogenen Kunststoffe, wie Polyäthylen, Polystyrol oder auch gewisse härtbare Kunstharze, nicht sehr groß ist, besteht keine Möglichkeit der unmittelbaren Anwendung höherer Gasdrücke von mehr als 20, z. B. 50 oder 100 atü, wie sie nach den Erkenntnissen des Paschen'schen Gesetzes über die erhöhte elektrische Durchschlagsfestigkeit hoher komprimierter Gase wünschenswert wäre, es sei denn — unter der Voraussetzung eines diffundierbaren Werkstoffes — nachträglich von außen z. B. in einem geschlossenen Druckgefäß oder nach dem Verlegen des Kabels in druckfeste und gasdichte Stahlrohre od. dgl.

Neben dem im obigen erläuterten Nachteil einer begrenzten Druckanwendung in bezug auf das einge-

brachte Isoliergas, die zu einer schaumstoffartigen, gasgetränkten Isolierung der auf diese bekannte Weise hergestellten Kabel führt, wird aber wegen der geringen Wärmeabfuhr auch als sehr nachteilig empfunden, daß sich mit dem bekannten Verfahren die räumliche Ausdehnung der gasgefüllten Hohlräume der Kabelisolierung nur wenig oder gar nicht beeinflussen läßt. Bekanntlich ist bei für den Transport großer Energiemengen bestimmten elektrischen Kabeln eine ausreichende Wärmeabfuhr ein wesentliches Erfordernis, da sonst zufolge der ohmschen Verluste im Leiter sowie der dielektrischen Verluste in der Isolierung ein Wärmestau auftritt, der zur Zerstörung des Kabels, z. B. durch Wärmedurchschläge, führen kann. Zuletzt sei auf die Umständlichkeit sowie den großen Platzbedarf dieses Verfahrens, bedingt durch die Länge des verwendeten Rohres, verwiesen, die sich aus dem Erfordernis der Erstarrung des Kunststoffes durch Wärmeentzug bei gleichzeitiger äußerer Erwärmung des Rohres ergibt und auf das aus Gründen der Wirtschaftlichkeit nicht minder wichtige Erfordernis einer vereinfachten Herstellung solcher für hohe und höchste Betriebsspannungen bestimmter Kabel, welches Bedürfnis mit den bisher bekannten Kabelherstellungsverfahren nicht in ausreichendem Maße befriedigt werden kann.

Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, ein wesentlich vereinfachtes Herstellungsverfahren für mit einer druckgasgefüllte Hohlräume aufweisenden Kunststoffisolierung versehene Kabel anzugeben, die für den Betrieb mit sehr hohen Spannungen von mehr als 100 kV geeignet sind, wobei sich sowohl der Druck des die Hohlräume der Kabelisolierung ausfüllenden Gases als auch die räumliche Ausdehnung dieser Hohlräume, unabhängig von der mechanischen Festigkeit des hierbei verwendeten Kunststoffes, im Einklang mit den zu erwartenden betrieblichen Erfordernissen bestimmen läßt.

Diese Aufgabe läßt sich mit einem Verfahren der eingangs umrissenen Art lösen, bei welchem erfindungsgemäß der metallische Mantel zugleich mit dem Strang der Isolationsschicht jedoch mit einem gegenüber dessen Querschnittsabmessungen merklich größeren Innendurchmesser extrudiert wird, und das Material der Isolationsschicht, bei sogleich einsetzender Kühlung des Mantels, für eine zur Bildung der Hohlräume und zum Einbringen des Mediums, z. B. einem Isoliergas oder einer kühlenden Flüssigkeit, in diese ausreichende Zeitspanne auf einer Temperatur, bei welcher es noch plastisch verformbar ist, gehalten und bei der Bildung der Hohlräume bis zur Anlage an der Mantelinnenfläche gedrückt wird.

Mit Hilfe dieses sehr wirtschaftlichen Verfahrens lassen sich auf einfache Weise Starkstromkabel der eingangs umrissenen Art herstellen, deren aus einem Kunststoff gebildetes Dielektrikum mit einem Druckmedium, wie insbesondere gasgefüllte Hohlräume großer Ausdehnung aufweist. Diese Hohlräume können sich mit einem Querschnitt von einigen, z. B. 5, 10 oder mehr Millimetern, bei Anwendung von nachstehend näher erläuterten Maßnahmen, über eine beliebige Länge, z. B. ein Mehrfaches der Querschnittsabmessung oder auch über eine gesamte Fertigungslänge eines solchen Kabels erstrecken, entsprechend den für den jeweiligen Zweck zu berücksichtigenden Erfordernissen erhöhter Wärmeabfuhr durch erhöhte Konvektion des Isoliergases. Als solches kann z. B. Stickstoff Schwefelhexafluorid od. dgl. oder auch ein

Luft-Gas-Gemisch mit einem Anteil von wenigstens 80 % eines Gases oder Gemisches von Gasen, dessen bzw. deren kritischer Punkt unter  $-20^{\circ}\text{C}$  liegt, in Betracht gezogen werden. Dabei kann der Druck dieses Gases so hoch gewählt werden, wie dies unter Berücksichtigung der Erkenntnisse des Paschen'schen Gesetzes, entsprechend den zu erwartenden Betriebsbedingungen erforderlich ist, und kann, bei entsprechender Bemessung des metallischen Mantels, jeden beliebigen Wert bis weit über 100 atü betragen.

Durch das bewußte Einbringen der unter sehr hohem Druck stehenden Gaseinschlüsse großer Dimension in die Isolation eines nach dem erfindungsgemäßen Verfahren hergestellten Kabels wird dessen Spannungsfestigkeit durch den ungewöhnlich hohen Druck und die, an sich bekannte, Diffusion des Gases in die praktisch unvermeidbaren kleinen Hohl- und Spalträume in bzw. am Rande der Isolations- schicht aus Kunststoff sehr wesentlich auf bisher un- erreichbar hohe Werte der Durchschlagsfestigkeit erhöht.

Gemäß dem erfindungsgemäßen Verfahren kann das Einbringen des Isoliergases in das thermoplastische Material der Isolierung im allgemeinen unmittelbar bei deren Herstellung unter einem so hohen Druck erfolgen, daß sich ein nachträgliches Unter- drucksetzen des Kabels zwecks Durchtränkung der Kabelisolierung zumeist erübrigt, mit Ausnahme von im nachstehenden erörterten Sonderfällen, in denen eine solche Maßnahme, insbesondere zur Prüfung des Festigkeit und Dichte des Mantels, nützlich sein kann.

Als wesentlicher Vorteil des erfindungsgemäßen Verfahrens sei herausgestellt, daß sich mit seiner Hilfe ein derart ausgebildetes Hoch- oder Höchstspannungskabel auf einfache Weise und in einem einzigen Arbeitsgang herstellen läßt.

Ein wesentliches Merkmal des erfindungsgemäßen Verfahrens ist in der gleichzeitigen Herstellung von Mantel und Isolation in einem einzigen Extrudier- vorgang zu erblicken, wobei durch die Steuerung der Kühlung des Mantelmaterials der Mantel die notwendige Festigkeit erhält, während das die Isolierung bildende Material im Inneren des Mantels noch plastisch verformbar ist. Dadurch kann das zu diesem Zeitpunkt in die Isolierung eingebrachte Druckmedium in dieser Hohlräume der gewünschten Größe bilden. Der Druck dieses Mediums, z. B. eines Glases, wird beim Einbringen so hoch gewählt, daß er nach dessen Eindringen in die plastisch verformbare Masse und deren Verdrängung bis zum Anliegen an der Innenfläche des bereits erstarrten Mantels in den derart gebildeten Hohlräumen auf dem gewünschten Wert liegt.

Dabei ist es vorteilhaft, wenn die Oberfläche des Leiterstranges in einem Fertigungsgang mit und unmittelbar vor der Kabelfertigung, beispielsweise durch hochfrequente Induktionserhitzung, in einer dünnen Schicht aufgeschmolzen und geglättet wird, um die Ionisierung im Bereich der Leiteroberfläche mit Sicherheit auszuschließen.

In einer einfachen Anwendungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens werden die Hohlräume der Isolationsschicht durch intermittierendes Einblasen eines lediglich in Abhängigkeit von der mechanischen Festigkeit des Mantels unter einem hohen Druck von mehr als 20 atü stehenden, gasförmigen Mediums in das sich im verformbaren, erweichten

Zustand befindliche Material dieser Schicht gebildet. Aus fertigungstechnischen Gründen ist es vorteilhaft, den Metallmantel bei Temperaturen in der Nähe des Schmelzpunktes des Metalles herzustellen und die Temperatur des Mantels sodann rasch auf einen Wert zu senken, bei dem der Mantel mit dem Isolierstoff verträglich ist. Dabei kann zwischen dem Mantel und dem Kunststoff eine Temperaturbegrenzungsschicht vorgesehen sein, die den Durchtrittsquerschnitt für den isolierenden Kunststoff reduziert.

Um eine Verlagerung des Leiterstranges in der Isolierung auszuschließen und nach Beendigung des Formgebungsprozesses am Kabel den Kunststoff möglichst bald zum Erstarren zu bringen, wird man die Kunststoffextrusionstemperatur möglichst wenig über der Erweichungstemperatur des Kunststoffes wählen. Dadurch wird aber eine Mindestfertigungsgeschwindigkeit vorgegeben, da die Erstarrung des Kunststoffes vom Leiter aus nach einem bekannten Gesetz fortschreitet. Wenn man das strömungsfähige Medium durch die Temperaturabgrenzungsschicht zuführt, kann man dessen niedrige Temperatur unter Verzicht auf umfangreiche Wärmedämmschichten dazu ausnutzen, die Temperaturdifferenz zwischen dem Mantel und dem Kunststoff im dynamisch-stationären Fall zu gewährleisten; und da wegen der Hohlräume nicht allzuviel Kunststoff durch den reduzierten Querschnitt zu bringen ist, kann die Mitnahme des Kunststoffes durch den Leiter als ein den Vorgang stabilisierender Faktor ausgenutzt, und ein unerwünschter Druckanstieg dadurch vermieden werden.

In vorteilhafter Weiterbildung des erfindungsgemäßen Verfahrens kann die Ausdehnung bzw. die Längserstreckung der Hohlräume nach Wunsch bestimmt werden, und zwar durch Steuerung des Relativdruckes zwischen dem Druck des in das Material der Isolationsschicht eingebrachten Mediums und dem Druck des Materials selbst sowie der Zeitintervalle, in denen das Medium in die Isolationsschicht eingebracht wird.

In einer anderen vorteilhaften Weiterbildung des erfindungsgemäßen Verfahrens werden die Hohlräume der Isolationsschicht in einem geringen Abstand von der Extrudierstelle, durch stellenweises, gleichmäßiges Verdrängen des extrudierten Materials der Isolationsschicht aus einer ringförmigen, mittleren Lage gegen die äußere Randzone derselben, und zwar bis zur Anlage an der Innenfläche des metallischen Mantels, mechanisch geformt und zugleich mit dem Druckmedium gefüllt. Bei dieser Anwendungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens kann die Querschnittsform der Hohlräume und deren Querschnittsabmessung genau bestimmt werden.

In vorteilhafter Weiterbildung der Erfindung können die bereits geformten Hohlräume unmittelbar nach deren Bildung und Füllung mit dem unter Druck stehenden Medium durch zeitweilige Steigerung des Druckes in der Isolationsschicht und Vergrößerung des Volumens des zur Bildung derselben zugeführten Materials, bei gleichzeitiger Unterbrechung der Zufuhr des Mediums, wieder verschlossen werden. Dies gibt die Möglichkeit einer genauen Bestimmung der Längenausdehnung dieser Hohlräume, die sich über ein Vielfaches, z. B. ein Dreifaches ihrer Querschnittsabmessungen, aber auch über eine Länge von einigen Metern erstrecken können.

Wenn ein dichter Verschuß des vorderen Kabel-

endes erwünscht ist, wird bei Beginn der Herstellung der metallische Mantel vor dem Material der Isolationsschicht extrudiert und sein anfänglicher Abschnitt in noch weichem Zustand rings um den Leiterstrang bis zur Anlage an diesem radial zusammengedrückt. In ähnlicher Weise jedoch umgekehrter Reihenfolge kann auch das ausgehende oder hintere Ende einer Kabelfertigungslänge dicht verschlossen werden. Die zusammengedrückten Mantelendschnitte können nach der Herstellung einer Fertigungslänge vom abgekühlten und erhärteten Kabel gekappt werden. Sie können gegebenenfalls aber auch zunächst belassen und z. B. erst bei der Montage entfernt werden, so daß bei dessen Lagerung ein Herausdiffundieren des Druckmediums aus den Kabelenden sowie auch deren Verschmutzung mit Sicherheit verhindert wird.

Die Kabelisolierung kann aber in vorteilhafter Weiterbildung des erfindungsgemäßen Verfahrens auch noch vor der Montage von einem gekappten Ende aus wenigstens für mehrere Stunden einem den Betriebsdruck weit überschreitenden Druck ausgesetzt werden, z. B. zur Prüfung der Festigkeit und Dichtigkeit des Mantels eines für besonders hohe Spannungen bestimmten Kabels, mit unter sehr hohem Druck stehenden Gaseinschlüssen.

In Anwendung des zuvor beschriebenen Verfahrens nach der Erfindung besteht auch die Möglichkeit, die Kabelisolierung so auszubilden, daß deren Hohlräume bei dicht verschlossenen Kabelenden über die gesamte Fertigungslänge des Kabels durchgehend geformt werden. In die Hohlräume eines solchen Kabels kann zunächst unmittelbar nach deren Bildung ein kühlendes, insbesondere flüssiges Medium, z. B. destilliertes Wasser, eingebracht werden, das erst zu einem späteren Zeitpunkt nach Trocknung der Hohlräume durch ein die gewünschten Eigenschaften aufweisendes Isoliergas ersetzt zu werden braucht. Dies bringt wegen der unmittelbaren Zufuhr eines das weiche Material abstützenden und kühlenden Druckmittels in die Hohlräume der Kabelisolierung den Vorteil einer sehr raschen Fertigung durch Erhöhung der Extrudiergeschwindigkeit mit sich. Auf diese Weise lassen sich Kabel herstellen, deren Isolierung von einem bis zum anderen Ende einer Fertigungslänge durchgehende, den Leiterstrang in konzentrischer Anordnung umgebende, im wesentlichen Achsparallele Kanäle aufweist. Bei solchen Kabeln können beide Enden einer Fertigungslänge gekappt, deren Hohlräume entleert und sodann, z. B. durch Zufuhr durch ein hygroskopisches Filter gefilterter und erwärmter Druckluft an ein Kabelende getrocknet und bis zur Montage wieder dicht verschlossen werden. Nach dem dichten Zusammenschluß mehrerer Kabelfertigungslängen zu einer einheitlichen Leitung können die Hohlräume von einer gemeinsamen Stelle, z. B. einer Verbindungsmuffe aus, mit dem gewünschten Druckgas gefüllt und wie an sich bekannt, bis zur völligen Diffusion dieses Gases in dem gesamten Bereich der Isolationsschicht einem höheren als dem vorgesehenen Betriebsdruck ausgesetzt werden.

Im folgenden wird die Erfindung an Hand von in der Zeichnung veranschaulichten Ausführungsbeispielen von nach dem erfindungsgemäßen Verfahren hergestellten Kabeln erläutert. In der Zeichnung zeigt

Fig. 1 im Querschnitt eine Ausführungsform eines

solchen Kabels, ausgelegt nach großen Lastmomenten und hohen Isoliergaskosten,

Fig. 2 ebenfalls im Querschnitt eine andere Ausführungsform, ausgelegt nach geringen Lastmomenten und/oder geringen Isoliergaskosten,

Fig. 3 einen Schnitt durch die Längsachse eines Kabels mit Hohlraumunterbrechung,

Fig. 4 ebenfalls im Schnitt durch die Längsachse einer Ausführungsform des Kabels mit durchlaufenden Hohlräumen.

In allen Zeichnungsfiguren ist mit *A* ein Kabel bezeichnet, das in allen Fällen aus einem zentrisch angeordneten Leiterstrang *E*, einer diesen unmittelbar umgebenden Isolationsschicht *C*, insbesondere aus einem Kunststoff und einem diese umfassenden dichten Metallmantel *B* hoher Festigkeit besteht. Die Hohlräume *D* der Isolationsschicht *C* sind in allen Zeichnungsfiguren deutlich zu erkennen. Diese sind mit einem isolierenden Druckmedium, wie insbesondere einem Gas oder Gasgemisch gefüllt. Mit *F* sind Gasausgleichskanäle bezeichnet.

Der Leiterstrang *E* kann, wie dies in den Zeichnungsfiguren dargestellt ist, als einziger massiver Volleiter oder — um bei konstanter Isoliergeometrie den Leiterquerschnitt ändern zu können — als Hohlleiter, z. B. in Form eines massiven Zylinderringes, ausgebildet sein. Er kann jedoch auch aus einer Anzahl von einander zur Kreisform ergänzenden, sektorförmigen Massivleitern oder aus verseilten Kupfer- und/oder Aluminiumlitzen bestehen, und von einem diesen unmittelbar anliegenden inneren Aluminiummantel umgeben bzw. in einen leitend gemachten Kunststoff, z. B. mit Graphitpulver versetzten Polyäthylen, eingebettet sein.

Die jeweils bevorzugte Ausführungsform des Leiters richtet sich nach dem Verwendungszweck des Kabels. Vom fertigungstechnischen Standpunkt ist die Anordnung eines massiven Voll- oder Hohlleiters am günstigsten, da ein entsprechendes Leiterglättungsverfahren, beispielsweise durch hochfrequente Induktionserhitzung der Leiteroberfläche, der Kabelfertigung unmittelbar vorgeschaltet werden kann. Die erforderliche Biegebarkeit des Kabels kann durch Verwendung eines Aluminiums geringerer Festigkeit für den Leiter in einem ausreichenden Maß gewährleistet werden, wobei gewöhnlich die Biegebarkeit des Leiters größer als jene des metallischen Mantels mit der erforderlichen hohen Festigkeit ist.

In der einfachsten Ausführungsform gemäß Fig. 1 und/oder Fig. 3 sind die Hohlräume *D* der Isolationsschicht *C* durch intermittierendes Einblasen eines Isoliergases mit hohem Druck gebildet, wobei die Länge der Hohlräume z. B. das Dreifache ihrer größten Querschnittsabmessungen betragen kann. Die Querschnittsabmessungen dieser Hohlräume *D* können in einer Größenordnung von einigen, gegebenenfalls auch mehr als 10 mm liegen. Derart ausgebildete Kabel lassen sich in Anwendung einer Form des erfindungsgemäßen Verfahrens sehr einfach in Fertigungslängen von beispielsweise 500 m herstellen, wobei die mit Druckgas gefüllten Hohlräume *D* in einer oder auch in mehreren Lagen beliebig angeordnet sein können.

Andere Anwendungsformen des erfindungsgemäßen Verfahrens dienen zur Herstellung von in Fig. 4 gezeigten Kabeln, bei welchen die Hohlräume *D* in gleichmäßiger Verteilung und kreisförmiger Anordnung rings um den Leiterstrang *E* im wesentlichen

achsparell mit diesem angeordnet und in Form langgestreckter Kanülen etwa kreis- oder segmentförmigen Querschnitts ausgebildet sind. Diese in einem geringen Abstand von der Extrudierstelle durch stellenweises gleichmäßiges Verdrängen des extrudierten Materials der Isolationschicht *C* mechanisch geformten und zugleich mit dem Druckmedium gefüllten Hohlräume *D* solcher Kabel können in Abschnitte etwa gleicher Länge unterteilt sein. Sie können sich jedoch auch von einem Ende einer Kabelfertigungslänge, das ist eines einstückig gefertigten Kabelabschnittes, bis zu deren anderem Ende erstrecken und an beiden Enden druckdicht verschlossen sein.

Die durchgehenden Hohlräume *D* mehrerer zu einer Leitungsanlage zusammengeschlossener Kabelfertigungslängen können kommunizierend miteinander verbunden sein. Bei der Fertigung können die Hohlräume *D* von Kabeln *A* dieser Ausführungsform zunächst mit einem unter Druck stehenden, fließfähigen und kühlenden Medium, z. B. destilliertes Wasser, gefüllt werden. Dies hat den Vorteil einer sehr raschen Kühlung des die Hohlräume umgebenden Materials der Isolierschicht *C* in der vorgesehenen Struktur, wodurch eine sehr rasche Fertigung ermöglicht ist. Fertigungslängen von Kabeln dieser Ausführungsform können in diesem Zustand an die Montagestelle gebracht, in der oben beschriebenen Weise an den Enden gekappt, entleert, mittels geeigneter Verbindungsmuffen miteinander verbunden, sodann getrocknet und schließlich als Einheit mit dem unter hohem Druck stehenden Isoliergas gefüllt werden.

In vielen Fällen, etwa für die Verwendung in Bereichen zwischen 100 und mehreren 100, bis etwa 750 kV, sind die elektrischen Eigenschaften der z. B. in den Fig. 1 und 3 gezeigten Ausführungsformen von nach dem erfindungsgemäßen Verfahren hergestellten Kabeln, bei denen die Hohlräume der Isolierung unmittelbar bei der Herstellung mit dem Druckgas gefüllt werden, durchaus ausreichend. Diese Kabel sind auf einfache Weise herstellbar und auch leicht montierbar.

Aus Gründen der Biegebarkeit wird man die Wandstärke des Kabelmantels nicht wesentlich über, jedoch aus Festigkeitsgründen kaum wesentlich unter einem Millimeter wählen. Über diese Erwägungen hinaus besteht ein starkes Verlangen nach einer Vereinheitlichung der Kabelfertigung. Deshalb wird man

im allgemeinen die Spannungsebene eines Kabels allein durch entsprechende Wahl des Isoliergases bzw. des Gasdruckes bestimmen, ohne die Abmessungen des Leiterstranges bzw. der Isolierung zu verändern.

Ein solches, für viele Zwecke anpassungsfähiges, Kabel läßt sich z. B. mit einem Leiteraußendurchmesser von etwa 18 mm und einem Mantelinnendurchmesser von etwa 40 mm herstellen. Dabei können im Bereich des Kabelmantels *B* durchlaufende Gaskanäle *F* (Fig. 1) vorgesehen sein, die bei wärmebedingter Kontraktion des Kunststoffes den erforderlichen Gasdruck im Bereich der Innenfläche des Kabelmantels unter allen Umständen mit Sicherheit gewährleisten, wobei sich die Frage der Isoliergasverschöttung durchaus den sonstigen Anforderungen an die Sicherheitsvorschlaltung einer vollständigen Anlage unterordnen kann.

Abschließend sei auf die Möglichkeit hingewiesen, eine bereits im Betrieb stehende, aus in der beschriebenen Weise mit durchgehenden Hohlräumen versehenen Kabeln zusammengesetzte Kabelstrecke geänderten Bedingungen anzupassen: Unter der Voraussetzung einer gegebenen Entfernung und einer bestimmten über diese zu überragenden elektrischen Maximalleistung wird man bei der Konzipierung einer Kabelstrecke die Spannungsebene und den Leiterquerschnitt so wählen, daß das Kabel bei freier Konvektion eines Gases, wie z. B. Stickstoff, in den Hohlräumen eine maximale Belastung im Rahmen des zulässigen Lastmomentes erhält. Steigen nun aus irgendwelchen Gründen die Anforderungen an die über diese Strecke zu übertragende Leistung, so wird man dem Stickstoff beispielsweise 10% Schwefelhexafluorid zusetzen, und dadurch die elektrische Spannung und mithin die Übertragungsleistung entsprechend erhöhen können. Sollten die Leistungsanforderungen danach noch weiter steigen, so kann man das Isoliergas zwecks besserer Wärmeableitung umwälzen und dadurch Bedingungen schaffen, um elektrische Energie bei gleichbleibender Spannung, doch mit wesentlich höherer Stromstärke transportieren zu können. Durch die beschriebenen Maßnahmen ist bei einer aus nach dem erfindungsgemäßen Verfahren hergestellten Kabeln bestehenden Anlage eine Leistungsvervierfachung möglich. Eine Kondensation des Schwefelhexafluorids, z. B. im Leerlauf, läßt sich durch Aufbringen einer hohen Verlustleistung auf das Kabel jederzeit verhindern.

---

Hierzu 1 Blatt Zeichnungen

Nummer: 2 133 453  
 Int. Cl.: H 01 b, 9/06  
 Deutsche Kl.: 21 c, 7/52 02  
 Auslegungstag: 4. Januar 1973

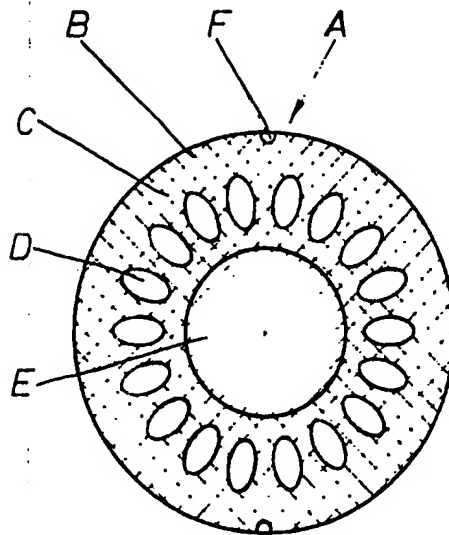


Fig. 1

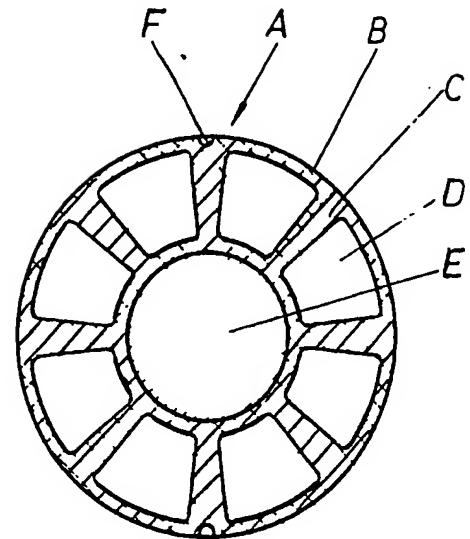


Fig. 2

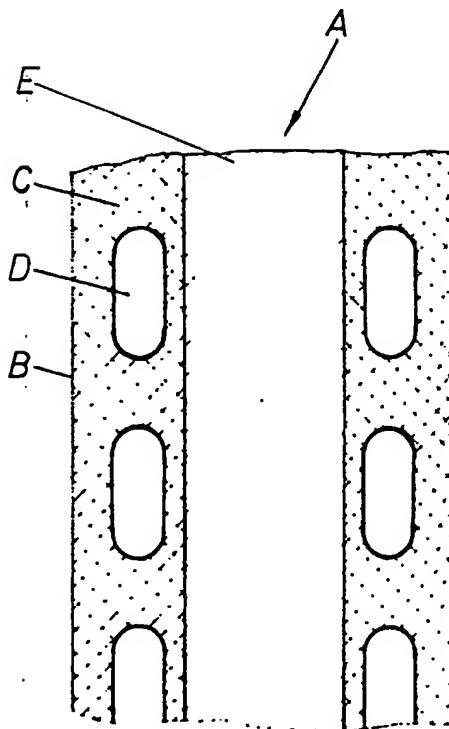


Fig. 3

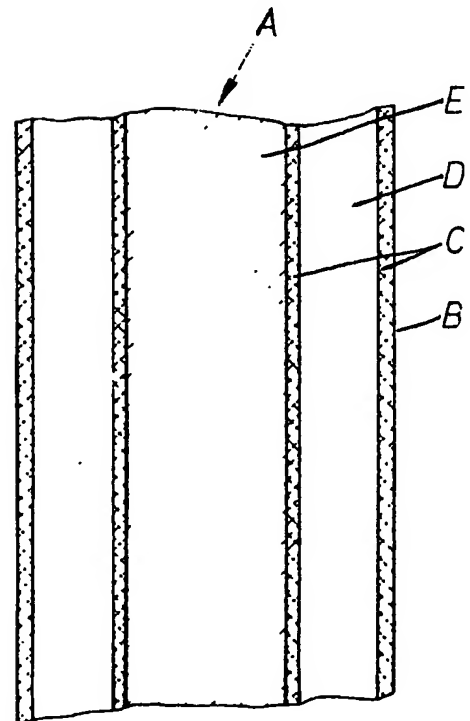


Fig. 4